



**TUGAS AKHIR - SF141501**

**ANALISIS PENGARUH FASA DAN KONSENTRASI  $\text{CaCO}_3$   
TERHADAP PERILAKU KOROSI KOMPOSIT EPOKSI  
RESIN/ $\text{CaCO}_3$**

**JANITRA ROCHWIDI SANTYASA  
NRP.0111440000073**

**Dosen Pembimbing  
Dr.Zaenal Arifin,M.Si**

**Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**TUGAS AKHIR - SF141501**

**ANALISIS PENGARUH FASA DAN KONSENTRASI  $\text{CaCO}_3$   
TERHADAP PERILAKU KOROSI KOMPOSIT EPOKSI  
RESIN/ $\text{CaCO}_3$**

**JANITRA ROCHWIDI SANTYASA  
NRP.011144000073**

**Dosen Pembimbing  
Dr.Zaenal Arifin,M.Si**

**Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**FINAL PROJECT - SF141501**

**ANALYSIS ON THE EFFECT OF PHASE AND  
CONCENTRATION OF  $\text{CaCO}_3$  TO THE CORROSION  
RATE OF EPOXY RESIN/ $\text{CaCO}_3$  COMPOSITE**

**JANITRA ROCHWIDI SANTYASA  
NRP.0111440000073**

**Advisor  
Dr.Zaenal Arifin,M.Si**

**Department of Physics  
Faculty of Science  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **Analisis Pengaruh Fasa dan Konsentrasi $\text{CaCO}_3$ terhadap Perilaku Korosi komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$**

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas  
Akhir Program Strata 1

Departemen Fisika Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh :

**Janitra Rochwidi Santyasa**  
**01111440000073**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

**Dr. Zaenal Arifin, M.Si.**  
NIP. 19651105 199102 1 002



## ABSTRAK

### ANALISIS PENGARUH FASA DAN KONSENTRASI $\text{CaCO}_3$ TERHADAP PERILAKU KOROSI KOMPOSIT EPOKSI RESIN/ $\text{CaCO}_3$

**Nama** : Janitra Rochwidi Santyasa  
**NRP** : 01111440000073  
**Departemen** : Fisika FIA ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Zaenal Arifin, M.Si.

Telah berhasil disintesis komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  sebagai pelapis tahan korosi dengan metode pencampuran Bisphenol A, Epichlorohidrin dan  $\text{CaCO}_3$  dengan konsentrasi 2,5wt%; 5wt%; dan 7,5wt%;. Fasa  $\text{CaCO}_3$  sebagai pengisi terdiri dari fasa 100% kalsit dan fasa campuran 87% kalsit + 13% aragonit. Hasil pengujian komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  dengan FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi bahan pengisi  $\text{CaCO}_3$  tersusun dengan baik dalam matrik resin. Ketahanan korosi komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  dianalisis dengan potensiostat. Pada konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  sebesar 2,5% wt dan 5% wt ketahanan korosi fasa campuran lebih baik 321,8% dan 114,3% dari pada fasa kalsit. Sedangkan pada konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  sebesar 7,5% ketahanan korosi fasa kalsit lebih baik 789,1% dari pada fasa campuran.

*Kata kunci: aragonit,  $\text{CaCO}_3$ , epoksi resin, kalsit, .*

## ABSTRACT

### ANALYSIS ON THE EFFECT OF PHASE AND CONCENTRATION OF $\text{CaCO}_3$ TO THE CORROSION RATE OF EPOXY RESIN/ $\text{CaCO}_3$ COMPOSITE

**Name** : Janitra Rochwidi Santyasa  
**NRP** : 01111440000073  
**Departement** : Fisika FIA ITS  
**Advisor Lecturer** : Dr. Zaenal Arifin, M.Si.

Epoxy Resins/ $\text{CaCO}_3$  composite had been synthesized from mixture that contain bisphenol A, epichlorohydrin, and methanol. This composite was used for coating layer within concentration 2,5wt%; 5wt%; dan 7,5wt%. Phases of  $\text{CaCO}_3$  that used were Calcite and Double Phases (87% of calcite and 13% of aragonite). The Functional Groups of Epoxy resins and  $\text{CaCO}_3$  were well formed, this were proven by FTIR absorption spectrum from both material. Corrosion resistance was analyzed by potentiostat. The Corrosion resistance concentration 2,5wt% and 5wt%  $\text{CaCO}_3$ , Double phases gave corrosion resistance 321,8% and 114,3% better than calcite phase. On concentration 7,5wt%  $\text{CaCO}_3$ , Calcite gave corrosion resistance 789,1% better than Double Phases.

*Keywords: aragonite, Calcite,  $\text{CaCO}_3$ , epoxy resin.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat, petunjuk, dan ridhonya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir berjudul *ANALISIS PENGARUH FASA DAN KONSENTRASI  $\text{CaCO}_3$  TERHADAP PERILAKU KOROSI KOMPOSIT EPOKSI RESIN/ $\text{CaCO}_3$* , serta semoga sholawat dan salam terus tercurahlimpahkan pada Nabi Muhammad SAW. Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa melalui bantuan banyak pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua penulis Bapak Sanjoto dan Ibu Lilik Sumiati yang selalu mendukung dan meridhoi penulis.
2. Bapak Dr. Zaenal Arifin, M.Si. selaku dosen pembimbing penulis yang tidak pernah lelah memperbaiki dan mengoreksi Tugas Akhir penulis.
3. Bapak Endarko, M.Si, Ph.D selaku dosen wali penulis yang terus memotiasi penulis dan membimbing penulis selama masa perkuliahan.
4. Segenap Dosen dan karyawan Departemen Fisika ITS, terkhusus Bapak Dr. Drs. Zainuri, M.Si. dan Bapak Dr. Drs. Yoyok Cahyono, M. Si. Yang telah memberi banyak ilmu baik di dalam dan di luar aktifitas perkuliahan
5. Adik penulis Agnarindra dan seluruh keluarga besar penulis di Ponorogo yang selalu mendukung penulis secara moral maupun moril.
6. Pak Sholeh, Mas Slamet, Mas Han dan kawan-kawan warga laboratorium bahan Fisika ITS yang selalu mendampingi, menghibur, dan memotivasi penulis dalam pengambilan data.
7. Pak Sung, Mas Reksa, Mas Mufid, Mas Azmi, Irvan, Agung, Anisah R dan teman-teman laboratorium Geofisika Fisika ITS yang telah menjadi tempat berlindung, berkeluh

kesah, dan rekan penulis dalam menyusun Tugas Akhir Penulis.

8. Mas Aris, Mbak Novi, Mas Zaky, Adit, Levina, Setyono, Heliansyah, dan teman-teman laboratorium multimedia yang bersedia menjadi tempat mengadu dan melampiaskan keluh kesah penulis selama semester akhir perkuliahan penulis.
9. Saudara seperjuangan Haidar, Romdoni, Rifki, Wildan, Firsta, Afif, Bramantya, dan Samid yang selalu mendukung penulis selama masa perkuliahan.
10. Seluruh staff BSO 5<sup>th</sup> Physics Summit yang selalu bersabar dan mendampingi penulis selama melaksanakan tanggung jawab Bersama.
11. Seluruh teman-teman Antares F32 Fisika 2014 yang benar-benar telah menjadi rumah penulis selama masa perkuliahan.
12. Kakak dan adik mahasiswa Fisika ITS
13. Seluruh pihak yang penulis tidak bisa sebutkan satu-satu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir yang telah disusun penulis masih banyak kekurangan, sehingga penulis berharap dapat menghimpun banyak kritik dan saran yang dapat memperbaiki Laporan Tugas Akhir yang telah disusun penuli.

Surabaya, 12 Juli 2018

Penulis, janitrars@gmail.com



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
COVER PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pengertian Komposit.....	5
2.2. Material Pembentuk Komposit .....	6
2.2.1. Penguat (reinforcement).....	6
2.2.2 Matriks.....	7

2.3. Polimer .....	7
2.3.1 Berat molekul polimer .....	8
2.3.2. Sifat Mekanik Polimer .....	10
2.4 Resin .....	11
2.5 Polimer epoxy resin .....	12
2.5.1 Polimerisasi Epoxy Resins .....	14
2.5.2 Curing Agents (Hardeners).....	14
2.6 Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) .....	14
2.7 Korosi.....	17
2.8 Laju Korosi dan Analisisnya .....	19
BAB III .....	25
METODOLOGI .....	25
3.1 Alat dan Bahan .....	25
3.1.1 Alat .....	25
3.1.2 Bahan.....	26
3.2 Prosedur Penelitian .....	27
3.2.1 Sintesis $\text{CaCO}_3$ .....	27
3.2.2 Sintesis Epoksi Resin / $\text{CaCO}_3$ .....	28
3.3 Coating Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ .....	29
3.4 Karakterisasi Material .....	29
3.4.1 Analisa Pola Difraksi Sinar X Material.....	29
3.4.2 Analisa Spektra Gelombang atau Gugus Fungsi Material .....	29
3.4.3 Analisa Morfologi Permukaan .....	30
3.4.3 Analisa Uji Perendaman .....	30

3.4.4 Analisa Laju Korosi.....	30
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.5.1 Sintesis $\text{CaCO}_3$ .....	31
3.5.2 Sintesis Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ .....	32
BAB IV .....	33
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	33
4 4.1 Analisa XRD.....	33
4.2 Analisa Uji FTIR.....	35
4.3. Analisis Keatahanan Korosi Komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ .....	37
4.3.1. Pengujian dengan Potensiostat.....	37
4.3.2. Analisa Uji Rendaman.....	41
BAB V .....	43
PENUTUP .....	43
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN .....	48
BIOGRAFI PENULIS.....	0

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Perbandingan daya rentang dan kekakuan dari setiap jenis resin(Hadiyawarman et al., 2008) .....	12
<b>Gambar 2. 2</b> Struktur grup Epoxy(González et al., 2012) ....	12
<b>Gambar 2. 3</b> Struktur dari DGEBA(González et al., 2012) ..	13
<b>Gambar 2. 5</b> Morfologi Polimorf Kalsium Kabonat, (a) aragonit; (b) kalsit, dan (c) vaterit. (Al Omari et al., 2016) ...	16
<b>Gambar 2. 6</b> Ilustrasi Massa Yang Hilang Setelah Korosi(Andrade and Alonso, 1996) .....	19
<b>Gambar 2. 7</b> Ekstrapolasi pada Kedua Cabang untuk Mendapatkan Icorr dan Ecorr (Andrade and Alonso, 1996) ..	23
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Sintesis $\text{CaCO}_3$ .....	31
<b>Gambar 3. 2</b> Diagram Alir Sintesis Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ ...	32
<b>Gambar 4. 1</b> Perbandingan Pola XRD hasil suhu ruang dengan pola XRD (Ni and Ratner, 2008) .....	42
<b>Gambar 4. 2</b> Spektrum Serapan Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ Hasil Uji FTIR .....	42
<b>Gambar 4. 3</b> Diagram Taffel Hasil Uji Potensiostat.....	42
<b>Gambar 4. 4</b> Laju korosi komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ dalam lingkungan 3,5% NaCl pada $T = 300^\circ\text{C}$ dan $T = 800^\circ\text{C}$ ..	42
<b>Gambar 4. 5</b> Struktur Komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ .....	42
<b>Gambar 4. 6</b> Perubahan Massa Epoksi Resin $\text{CaCO}_3$ Variasi Fasa Campuran.....	42
<b>Gambar 4. 7</b> Perubahan Massa Epoksi Resin $\text{CaCO}_3$ Variasi Temperatur Fasa Kalsit .....	42

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> berat molekul, $M_n$ , dari epoxy resin yang ideal ..	14
<b>Tabel 3.1</b> Alat-alat yang Digunakan dalam Penelitian .....	25
<b>Tabel 3.2</b> Bahan-bahan yang Digunakan dalam Penelitian ...	26
<b>Tabel 4. 1</b> Nilai Laju Korosi melalui Garis Ekstrapolasi.....	42
<b>Tabel 4. 2</b> Perubahan Massa Hasil Uji Perendaman Komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$ .....	42

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu komoditi yang paling banyak digunakan di dunia industri adalah besi. Besi merupakan metal yang paling banyak ditemui di permukaan bumi. Besi sudah digunakan dari Zaman Besi (*Iron Age*) untuk membuat banyak peralatan yang digunakan manusia di berbagai bidang. Namun karena beberapa sifat fisis maupun kimiawi yang kurang menguntungkan, rekayasa dilakukan untuk meningkatkan atau mengubah sifat besi. Banyak cara yang dilakukan salah satunya dengan *alloying* atau perpaduan logam besi dengan logam lain. Besi yang telah dipadukan disebut dengan baja. Baja lebih keras, kuat dan lebih tahan korosi ketimbang besi murni. Beberapa jenis logam paduan dan jumlah pencampuran menghasilkan jenis baja dengan sifat yang berbeda, dengan keunggulan masing-masing.

Meskipun telah dipadukan dengan berbagai macam paduan, baja masih memiliki beberapa kelemahan, salah satunya adalah ketahanan terhadap korosi. Korosi menjadi salah satu masalah utama alat atau teknologi dengan bahan utama logam, termasuk logam besi. Untuk itu ada beberapa metode yang dilakukan, salah satunya adalah coating atau pelapisan. Salah satu produk baja hasil pelapisan yang populer dipasaran adalah BjLS yaitu Baja Lapis Seng juga dikenal sebagai *galvanising*. Pelapisan ini menjadi populer karena prosesnya yang mudah dan murah, serta ketersediaan seng di alam mudah didapat. Tidak sama dengan prosesnya yang ekonomis dan menguntungkan, efek samping penggunaan seng berbahaya bagi ekosistem dan makhluk hidup termasuk manusia. Jika terkandung kandungan seng yang tinggi, maka orang tersebut akan mengalami *metal fume disorder*. Salah satu kasus

pencemaran lingkungan oleh seng juga pernah terjadi di Curug Jompong Jawa Barat (bbc.com).

Perkembangan ilmu penelitian yang pesat menemukan bahwa pelapisan menggunakan polimer dapat digunakan sebagai pengganti pelapisan dengan seng. Seperti penelitian yang dilakukan oleh (Fang et al., 2007) tentang pelapisan polimer Polianilin yang meningkatkan ketahanan korosi *Stainless Steel*. Selain PANi, epoksi resin merupakan salah satu jenis polimer yang digunakan untuk mencegah korosi. Epoksi resin memiliki sifat ketahanan korosi dan ketahanan kimia yang baik (Vasil'ev et al., 2014), namun karena beberapa sifat minornya seperti getas dan hidrofilik, epoksi resin perlu dimodifikasi sebelum digunakan dalam industry. Bentuk modifikasi tersebut salah satunya adalah penambahan filler keramik, dimana keramik yang memiliki partikel yang memiliki morfologi unik. Morfologi unik ini yang diharapkan dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan sifat minornya (Yu et al, 2006). (Yu et al., 2006) melaporkan bahwa penambahan  $\text{CaCO}_3$  sebagai filler dapat meningkatkan ketahanan impak dari epoksi resin.

$\text{CaCO}_3$  dapat ditemukan di alam dalam bentuk batu kapur. Indonesia memiliki cadangan batu kapur yang tinggi. dan tersebar merata di seluruh wilayah Indonesia. Batu kapur di Indonesia 86,84% hanya digunakan oleh industri semen (blog.pasca.gunadarma.ac.id). Selain dimanfaatkan untuk industry semen, batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) dapat digunakan sebagai bahan pensubstitusi dalam skala mikro dan nano pada beberapa industry seperti, kertas, cat, rubber, farmasi dan suplemen makanan. Batu kapur dapat diekstrak menjadi ion kalsium, kemudian ion kalsium ini akan diproses lebih lanjut menjadi nano material  $\text{CaCO}_3$  dengan kemurnian yang tinggi (Hadiko et al., 2005)

Penelitian ini akan memanfaatkan  $\text{CaCO}_3$  sebagai filler dalam epoksi resin menjadi komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$ . Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan pengaruh konsentrasi dan fase  $\text{CaCO}_3$  dalam komposit epoksi resin / $\text{CaCO}_3$  sebagai pelapis anti korosi baja ST 60. .

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana metode sintesis komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  dan pelapisannya pada baja ST 60.
2. Bagaimana pengaruh fasa (kalsit dan campuran kalsit-Aragonit) dan konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  ( 2.5% wt, 5% wt, dan 7.5% wt) pada komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  terhadap ketahanan korosi dalam lingkungan air laut

## **1.3 Tujuan penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah,

1. Mengetahui metode sintesis komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  dan pelapisannya pada ST 60.
2. Untuk mengerahui pengaruh fasa (kalsit dan campuran kalsit-Aragonit) dan konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  (2.5% wt, 5% wt, dan 7.5% wt) terhadap ketahanan korosi komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  dalam lingkungan air laut.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan Masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan untuk mensintesis  $\text{CaCO}_3$  adalah dengan mereaksikan  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
2. Epoksi-resin yang digunakan adalah epoksi-resin teknis
3. Komposit epoksi-resin dilapiskan pada baja ST 60.



4. Metode pelapisan yang digunakan adalah dengan pengolesan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan wawasan tentang peranan batu kapur dengan fasa dan konsentrasi berbeda sebagai bahan pensubstitusi dalam komposit epoksi-resin sebagai pelapis anti-korosi.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini, tersusun dalam tiga bab yaitu : Bab 1: Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan manfaat penelitian tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian berisi tentang metode dan tahap pengambilan data tugas akhir. Bab 4: Hasil Penelitian dan Pembahasan berisi tentang hasil data dan pengolahan data serta analisis data. Bab 5: Kesimpulan dan Saran

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Komposit**

Komposit adalah suatu jenis material baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan (dalam level makroskopis) dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya, sehingga dihasilkan material baru yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Pada material komposit unsur pembentuknya masih terlihat jelas. Tentunya ini berbeda dengan material paduan yang unsur pembentuknya sudah tidak tampak secara nyata

Material komposit bersifat *anisotropik* yang artinya mempunyai sifat yang tergantung pada arah gaya atau beban yang diterapkan. Ini berbeda dengan material konvensional yang bersifat isotropik (sifat tidak tergantung arah gaya yang diterapkan). Oleh karena itu material komposit mempunyai sifat yang berbeda dari material konvensional lain (Campbell, 2010)

Komposit dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu makro komposit mikro komposit. Pembedaan jenis ini didasarkan kepada ukuran dan fase dispersi (dimana suatu zat tersebar merata di dalam zat lain) dalam pembuatan komposit. Dikatakan makro komposit jika fase dispersi lebih besar dari  $10^{-6}$  m. Dikatakan mikro komposit jika fase dispersi memiliki ukuran antara  $10^{-8}$  –  $10^{-6}$  m. Perkembangan komposit saat ini cenderung lebih mengarah pada makrokomposit

Sama halnya seperti material lain, komposit mempunyai kelebihan dan kekurangan. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya lebih tahan terhadap lingkungan korosif, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, insulasi listrik yang baik, serta dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Selain kelebihan, material komposit juga mempunyai

kekurangan, antara lain, tidak tahan terhadap beban kejut (*shock*) dan tabrak (*impact*) dibandingkan dengan metal

Untuk mendapatkan material komposit dengan kualitas yang baik dikenal istilah *curing* atau proses pengeringan material komposit itu sendiri. Material komposit akan lebih kuat dan kaku jika suhu pengeringan (*curing*) optimum. Sebaliknya jika suhu terlalu tinggi, itu akan mengakibatkan material komposit mengalami kerusakan pada ikatan-ikatan molekulnya, Seperti menurut Silalahi, bahwa laju pemanasan yang optimum pada komposit akan dihasilkan ikatan-ikatan segmen polimer yang baik dan kuat (Lokantara, 2012)

## **2.2. Material Pembentuk Komposit**

Pada umumnya komposit terdiri dari dua bahan/material pokok, yakni penguat (*reinforcement*) dan matriks. Penguat adalah bahan pada komposit yang berfungsi sebagai penopang utama kekuatan komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk mengikat dan menjaga penguat agar tetap pada tempatnya (di dalam struktur) (Setyawan et al., 2012)

### **2.2.1. Penguat (reinforcement)**

Sesuai dengan namanya, penguat berfungsi sebagai penopang utama kekuatan komposit. Beban yang diterima oleh komposit hampir seluruhnya diterima oleh penguat ini, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari jenis bahan yang digunakan sebagai penguat. Sesungguhnya, beban yang diterima oleh komposit tidak langsung diterima oleh penguat, namun terlebih dahulu diterima oleh bahan matriks, kemudian beban yang diterima oleh matrik diteruskan/ditransfer ke penguat. Oleh karena itu bahan penguat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. (Setyawan et al., 2012)

### 2.2.2 Matriks

Matriks berfungsi untuk mengikat dan menjaga *reinforcement* agar tetap pada tempatnya (di dalam struktur), membantu distribusi beban, melindungi filamen di dalam struktur, mengendalikan sifat elektrik dan kimia dari komposit, serta membawa regangan interlamener. Matriks yang paling umum dipakai adalah logam, keramik dan polimer, baik polimer *thermoset*, maupun polimer *thermoplastic*

Untuk mendapatkan pelekatan yang baik antara fasa matriks dengan fasa penguat (pengisi) pembasahan yang sempurna harus terjadi agar interaksi antara fasa matriks dan fasa penguat menghasilkan kekuatan interlamina yang baik. (Setyawan et al., 2012)

Peranan fasa matriks pada suatu komposit yaitu :

- a. Fasa matriks merupakan bahan padat yang mampu memindahkan tegasan yang dikenakan pada fasa penguat
- b. Menjaga fasa penguat dari kerusakan lingkungan seperti panas, cuaca dan kelembaban
- c. Sebagai pengikat antara fasa matriks dan fasa penguat
  - a. Memiliki suhu pemrosesan yang lebih rendah dibandingkan suhu pemrosesan logam (Setyawan et al., 2012)

### 2.3. Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana (monomer) yang dihubungkan oleh ikatan kovalen. Nama ini diturunkan dari bahasa Yunani *Poly*, yang berarti “banyak”, dan *mer*, yang berarti “bagian”. Ada tiga metode utama sintesis polimer, yaitu sintesis organik di laboratorium dan pabrik, sintesis biologi pada sel dan organisme hidup, dan modifikasi kimia.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah sintesis organik. Metode sintesis di laboratorium secara

umum dibagi dua kategori, yaitu polimerisasi kondensasi dan polimerisasi addisi. Pengkategorian ini pertama kali diusulkan oleh Carothers, yang didasarkan pada apakah unit ulang dari suatu polimer mengandung atom-atom yang sama seperti monomer. Suatu polimer adisi memiliki atom yang sama seperti monomer dalam unit ulangnya, sedangkan polimer kondensasi mengandung atom-atom yang lebih sedikit karena terbentuknya produk sampingan selama berlangsungnya proses polimerisasi.

### **2.3.1 Berat molekul polimer**

Berat molekul merupakan variabel yang teristimewa penting sebab berhubungan langsung dengan sifat-sifat fisika polimer. Pada umumnya, polimer dengan berat molekul yang lebih tinggi bersifat lebih kuat, tetapi berat molekul yang terlalu tinggi bisa menyebabkan kesukaran-kesukaran dalam pemrosesannya. Pada umumnya polimer-polimer dianggap memiliki berat molekul yang tinggi berkisar antara ribuan hingga jutaan, dengan berat molekul optimum tergantung pada struktur kimia dan penerapannya. Polimer-polimer vinil yang mempunyai nilai komersial biasanya memiliki berat molekul antara  $10^5$  hingga  $10^6$ . polimer yang memiliki gugus-gugus fungsi sangat polar, seperti poliamida, mungkin memiliki berat molekul rendah yang berkisar antara 15.000 hingga 20.000 (Hadiyawardman et al., 2008).

Teknik-teknik umum yang digunakan untuk penetapan berat molekul polimer adalah osmometri, hamburan cahaya (light scattering), dan ultrasentrifugasi. Nilai berat molekul yang diperoleh bergantung pada besarnya ukuran dalam metode pengukurannya. Metode yang bergantung pada analisis gugus ujung atau sifat-sifat

koligatif (penurunan titik beku, kenaikan titik didih, tekanan osmotis) menimbulkan apa yang dikenal sebagai berat molekul rata-rata jumlah karena bilangan atau jumlah molekul dari setiap berat dalam sampel yang bersangkutan dihitung. Berat total dari suatu sampel polimer,  $w$ , adalah jumlah berat dari setiap spesies molekul yang ada:

$$w = \sum_{i=1}^{\infty} w_i = \sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i$$

dimana  $N$  dan  $M$  masing-masing menunjukkan jumlah mol dan berat molekul dari setiap spesies  $i$ . Berat molekul rata-rata jumlah,  $M_n$ , adalah berat sampel per mol:

$$M_n = \frac{w}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i}$$

Dilain pihak, hamburan cahaya dan ultrasentrifugasi merupakan metode untuk menetapkan berat molekul yang didasarkan pada massa dan polarisabilitas spesies polimer yang hadir. Polimer dengan massa yang lebih besar maka kontribusinya ke pengukuran menjadi lebih besar. Berbeda dengan berat molekul rata-rata jumlah (yang merupakan jumlah fraksi mol masing-masing spesies dikalikan berat molekulnya), metode-metode ini menjumlahkan fraksi berat masing-masing spesies dikalikan berat molekulnya. Dengan demikian nilai yang diperoleh disebut berat molekul rata-rata berat,  $M_w$  dan secara matematis diekspresikan sebagai (Hadiyawarman et al., 2008) berikut:

$$M_w = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} w_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} w_i} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i^2}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i}$$

### **2.3.2. Sifat Mekanik Polimer**

Pada berat molekul rendah, gugus ujung secara signifikan mempunyai kontribusi ke seluruh struktur, dan hal ini dimanifestasikan dalam sifat-sifat seperti kerapatan, indeks refraksi, dan absorpsi spektroskopik, yang bervariasi dengan berat molekul. Ketika mencapai berat molekul tertentu katakanlah 15.000, konsentrasi gugus-gugus ujung menjadi bisa diabaikan dan sifat-sifat ini menjadi tetap, yang tidak berlaku dengan sifat-sifat mekanik, yang bergantung pada gaya-gaya antar molekul. Sifat mekanik jauh lebih bergantung pada berat molekul untuk daerah berat molekul yang sangat luas. Untuk bahan polimer komersial yang besar, sifat-sifat mekanik merupakan aspek yang sangat mendasar. Meskipun sifat-sifat lainnya seperti ketahanan nyala, stabilitas termal, dan ketahanan kimia mempunyai kaitan dalam aplikasi-aplikasi yang lebih spesifik, semua polimer, apapun pemakainnya harus memperlihatkan suatu daerah sifat-sifat mekanik yang terspesifikasi yang cocok untuk aplikasi tersebut. Diantara lusinan sifat yang harus diperhatikan para produsen polimer, kekuatan tarik, kompresif, fleksur, dan ketahanan impak adalah yang terpenting. Sifat-sifat terkait mencakup kekerasan, ketahanan abrasi, dan ketahanan sobek(Hadiyawarman et al., 2008).

Pada semua kasus ukuran dari beberapa tegangan yang akan ditahan suatu sampel sebelum sampel tersebut “rusak”. Kekuatan tarik mengacu pada ketahanan terhadap tarikan. Kekuatan kompresif adalah kebalikan dari kekuatan tarik; yang merupakan ukuran sampai dimana suatu sampel bisa ditekan sebelum rusak.

Dalam eksperimen yang dilakukan, uji mekanik yang dilakukan adalah uji tekan. Dimana seperti yang sudah disinggung diatas bahwa uji tekan dilakukan untuk

mengetahui kemampuan polimer-nanokomposit menahan tekanan yang dihasilkan oleh suatu sumber gaya. (Hadiyawarman et al., 2008)

## **2.4 Resin**

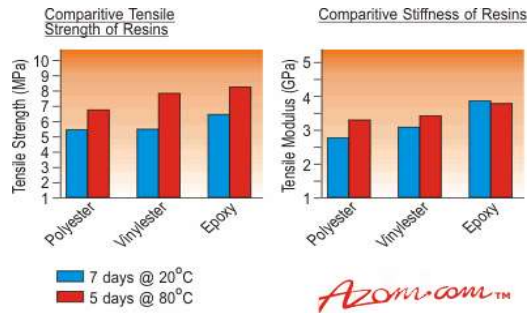
Resin yang biasa digunakan dalam pembuatan komposit sering diidentikkan sebagai polimer. Semua polimer menampilkan karakterisasi yang umum yaitu tersusun dari rantai yang sangat panjang yang terbentuk dari unit-unit berulang yang sederhana. Polimer berdasarkan efek suhu terhadap sifatnya bisa diklasifikasikan menjadi dua, yaitu termoplastik dan termoset. (Hadiyawarman et al., 2008)

Termoplastik, sifatnya mirip logam, meleleh jika dipanaskan dan mengeras jika didinginkan. Proses pengerasan dan pelelehan ini bisa berlangsung berulang-ulang tergantung kebutuhan kita. Contoh dari termoplastik adalah nilon, polipropilen, dan ABS.

Termoset dibentuk lewat reaksi kimia secara *in situ*, dimana resin dan hardener atau resin dengan katalis dicampur dalam satu tempat kemudian terjadilah proses pengerasan (polimerisasi). Sekali terjadi pengerasan, termoset ini tidak bisa mencair lagi sekalipun dilakukan pemanasan. Meskipun begitu, pada temperatur tertentu terjadi perubahan sifat mekanik yang signifikan. Temperatur saat terjadi perubahan signifikan ini dikenal sebagai Temperatur Transisi Gelas ( $T_g$ ). Diatas temperatur gelas tersebut, struktur molekul dari termoset berubah dari polimer kristal yang keras menjadi polimer yang lebih flexibel. Selain itu, modulus resin juga turun secara drastis sehingga daya tekan dan kekuatannya berkurang. Ketahanan terhadap air dan stabilitas warna juga berkurang pada saat suhu diatas temperatur gelas ini. Dari sekian banyak resin yang ada di pasaran, ada tiga jenis resin yang banyak digunakan, yaitu poliester, vinil ester, dan



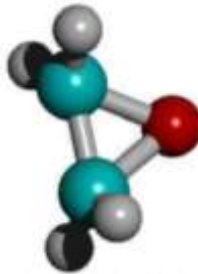
epoxy. Pada penelitian ini resin yang digunakan adalah epoxy resin.(Hadiyawarman et al., 2008)



**Gambar 2. 1** Perbandingan daya rentang dan kekakuan dari setiap jenis resin(Hadiyawarman et al., 2008)

## 2.5 Polimer epoxy resin

Epoxy resin didefinisikan sebagai molekul yang mengandung lebih dari satu epoxy group. Epoxy grup ini biasa disebut, oxirane atau ethoxyline grup, yang strukturnya ditunjukkan di bawah ini



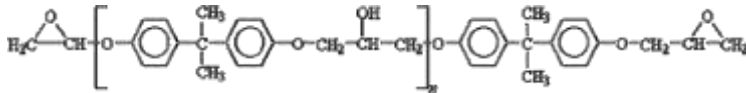
**Gambar 2. 2** Struktur grup Epoxy(González et al., 2012)

Resin ini termasuk *thermosetting polymers* dan biasa digunakan sebagai bahan perekat, pelapis, dan pembungkus material. Resin ini mempunyai karakteristik listrik yang bagus, daya penyusut yang rendah, perekat yang bagus untuk

kebanyakan bahan logam, dan tahan terhadap kelembaban udara serta tahan terhadap tekanan. Viskositas, massa ekuivalen epoxy, dan berat molekul adalah sifat-sifat penting pada epoxy resin.(Hadiyawardman et al., 2008)

Ada dua kategori utama dari epoxy resin, yaitu glycidyl epoxy, dan non- glycidyl epoxy resins. Glycidyl epoxy ini terbagi lagi atas glycidyl-ether, glycidyl-ester dan glycidyl-amine. Non-glycidyl epoxies terbentuk dari salah satu kelompok berikut; aliphatic atau cycloaliphatic epoxy resin. Glycidyl epoxies terbentuk dari proses reaksi kondensasi dari senyawa dihydroxy yang sesuai, dibasic acid atau diamine dan epichlorohydrin. Sementara, non-glycidyl epoxies dibentuk oleh peroxidasi dari ikatan doble olefinic.(Hadiyawardman et al., 2008)

Glycidyl-ether seperti diglycidyl ether dari bisphenol-A (DGEBA) dan novolac epoxy resins merupakan jenis epoxy resin yang umum digunakan. Epoxy resin jenis ini banyak dikomersialkan dan disintesis dengan mereaksikan bisphenol-A dengan epichlorohydrin dan ditambah katalis.(González et al., 2012)



**Gambar 2. 3** Struktur dari DGEBA(González et al., 2012)

Karakteristik dari resin DGEBA tergantung pada nilai n, yang merupakan jumlah unit berulang yang umumnya dikenal sebagai derajat polimerisasi. jumlah unit berulang bergantung juga pada stoikiometri reaksi sistesis. Biasanya, dalam berbagai produk komersial n ini berada pada rentang 0 sampai 25.(González et al., 2012)

### 2.5.1 Polimerisasi Epoxy Resins

Proses *curing* (pengerasan) terjadi melalui reaksi antara gugus epoxy (dalam epoxy resin) dengan hardener yang membentuk suatu ikat silang polimer yang kuat. Epoxy resin mengeras lebih cepat pada selang temperature 5-150°C tapi ini tergantung pula pada jenis hardener yang digunakan.(Ghurri, 2005)

### 2.5.2 Curing Agents (Hardeners)

Hardener mempunyai jenis yang cukup banyak, dan penggunaannya tergantung pada kebutuhan kita. Zat yang biasa dipakai sebagai hardener antara lain amines, polyamides, phenolic resins, anhydrides, isocyanates and polymercaptans. Pemilihan resin dan hardener tergantung pada aplikasi, pemilihan proses dan sifat material yang diinginkan. Stoikiometri dari epoxy-hardener juga berpengaruh pada material yang dihasilkan. Jenis amine dan phenolic, merupakan hardener yang paling banyak digunakan pada epoxy resin.(Ghurri, 2005)

**Tabel 2. 1** berat molekul,  $M_n$ , dari epoxy resin yang ideal

n	$M_n$ 340+284n	Nomor dari grup hidroxy	Berat Equivalen Epoxy
0	340	0	170
1	624	1	312
2	908	2	454
10	3180	10	1590

### 2.6 Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

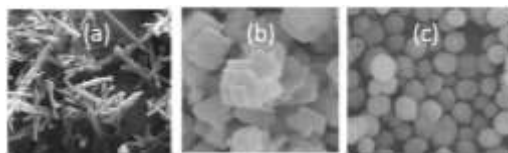
Kalsium karbonat merupakan mineral alami yang mudah ditemui di Bumi. Rumus kimia dari kalsium karbonat adalah  $\text{CaCO}_3$ . Senyawa ion dengan ion logam positif  $\text{Ca}^{2+}$  dan

ion negatif karbonat  $\text{CO}_3^{2-}$ . Massa molekul relatifnya adalah 100,09 gram/mol, dengan komposisi massa karbon 12% , kalsium 40,04%, dan oksigen 47,96%. Kenampakan kalsium karbonat adalah halus, putih, tidak berbau, dan tidak berasa. Bentuknya dapat berupa bubuk dengan orde mikron, dimata satu butiran bisa terdiri dari satu orientasi kristal atau satu butir.

Kalsium Karbonat ditemukan di alam dalam bentuk *limestone* (batu gamping) dan *chalk* (gugusan kapur sisa organisme laut). Kalsium karbonat menjadi penyusun utama *limestone* dan *chalk* yang merupakan salah satu jenis batuan sedimen yang jumlahnya paling banyak di permukaan bumi, yaitu sekitar 10% dari seluruh batuan sedimen. Hal ini dikarenakan pembentukan Kalsium Karbonat sangat masif dan aktif. Kalsium Karbonat yang terdapat di alam kebanyakan dibentuk dari organisme laut yang sudah mati. Meskipun laut merupakan tempat atau lingkungan yang mendominasi pembentukan kalsium karbonat, tidak semua lautan menghasilkan kalsium karbonat dalam jumlah yang sama. Pembentukan secara masif kalsium karbonat hanya terkonsentrasi di beberapa area laut yang memiliki suhu yang sesuai untuk organisme laut melakukan metabolismenya. Daerah laut yang hangat itu adalah daerah laut subtropis dan tropis yang memiliki suhu yang optimal untuk ditinggali organisme laut yang aktif melakukan metabolisme biologis yang tentu secara tidak langsung meningkatkan produksi Kalsium Karbonat baik melalui sekresi, ekskresi, ataupun bangkai dan rangka yang ditinggalkan. Organisme Laut memakai kalsium karbonat sebagai bahan penyusun rangkang cangkang, telur, dan juga untuk menghasilkan permata (Al Omari et al., 2016a). Beberapa fungsi dan penggunaan dari  $\text{CaCO}_3$  adalah sebagai pigmen pelapis kertas kualitas premium, filler pada karet dan cat berbasis polimer, dan juga sebagai obat

tablet dengan bahan utama kalsium. Kalsium karbonat juga banyak diteliti dibidang biomaterial dan biomineralisasi (Ni and Ratner, 2008a).

Kalsium karbonat memiliki beberapa fase kristalin dan beberapa fase hidrat. Adapun fase kristalnya adalah kalsit, aragonit, dan vaterit. Kalsit merupakan fase yang paling dominan dibandingkan dengan fase lainnya. Kalsit memiliki struktur kristal rhombohedral bentuknya adalah bentuk balok memipih. Kemudian aragonit dengan struktur kristal orthorombik. Bentuk morfologi aragonit adalah jarum. Kalsium Karbonat fase Aragonit akan berbentuk seperti duri-duri yang bercabang-cabang yang tidak memiliki keteraturan. Kemudian fase ketiga adalah vaterit. Vaterit memiliki struktur kristal monohedral, dengan morfologi berbentuk bola-bola sperulit, dapat dilihat pada gambar 2.5. Namun bentuk morfologi ini masih dapat dimodifikasi salah satunya dengan perlakuan asam pada saat sintesisnya. (Al Omari et al., 2016a). Dari ketiga fase diatas fase vaterit memiliki tingkat kestabilan temal yang rendah. Pada proses sintesis, fase vaterit akan muncul, namun dalam waktu yang singkat fasa ini akan beubah menjadi fase aragonit atau kalsit. Fase kalsit memiliki sensitifitas permukaan dan daya adsorpsi yang tinggi(Lailiyah et al., 2012).



**Gambar 2. 4** Morfologi Polimorf Kalsium Kabonat, (a) aragonit; (b) kalsit, dan (c) vaterit. (Al Omari et al., 2016)

Ion kalsium memiliki tingkat kelarutan yang rendah didalam air. Hal tersebut berlaku juga untuk senyawa kalsium karbonat. Fase-fase kalsium karbonat memiliki nilai kelarutan

yang berbeda satu dengan yang lain. Pada suhu 20°C aragonit, vaterit, kalsit berturut-turut memiliki kelarutan 6,6 mg/liter, 11 mg/liter, dan 16,6 mg/liter (Al Omari et al., 2016). Tingkat kelarutan yang rendah ini mempengaruhi proses dan tahapan pada sintesisnya. Seperti yang disebutkan oleh (Lailiyah et al., 2012) bahwa  $\text{CaCO}_3$  dapat disintesis dengan melakukan karbonasi pada larutan yang melarutkan ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Pada penelitian ini Ion  $\text{Ca}^{2+}$  didapat dari material alam batu gamping yang memiliki tingkat kemurnian  $\text{CaCO}_3$  yang tinggi, yaitu diatas 95%. Kemudian batu gamping ini direndam dalam aquades dan dibiarkan membentuk beberapa layer. Layer paling atas merupakan  $\text{CaCO}_3$  yang tidak terlarut, layer kedua adalah larutan  $\text{CaOH}$ , kemudian layer paling bawah adalah endapan pengotor yang tentu tidak dapat terlarut dalam air. Kemudian larutan  $\text{CaOH}$  ini dialiri dengan gas  $\text{CO}_2$  murni dengan laju dan temperatur tertentu (Lailiyah et al., 2012).  $\text{CaCO}_3$  juga dapat disintesis dengan cara mereaksikan  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  seperti penelitian yang dilakukan oleh (Peh et al., 2017). Juga dengan cara mereaksikan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan  $\text{CaCl}_2$  melalui proses kimia mekanik yaitu dengan cara mereaksikan serbuk kemurnian dari masing-masing bahan pada alat milling (Tsuzuki et al., 2000).

## 2.7 Korosi

Korosi merupakan sel elektrokimia alami yang terjadi secara spontan. Terjadi secara spontan ini berarti terjadi tanpa membutuhkan energi. Korosi, pada besi khususnya dapat dijelaskan secara sederhana setengah reaksi pada anoda dan katoda. Korosipun terjadi memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi yaitu adanya air (elektrolit), oksigen (atau ion negatif terlarut), dan logam. Sel elektrokimia memiliki dua elektroda, yaitu katoda tempat terjadi oksidasi dan anoda tempat terjadi reduksi. Katoda pada sel korosi ini adalah logam, pada logam

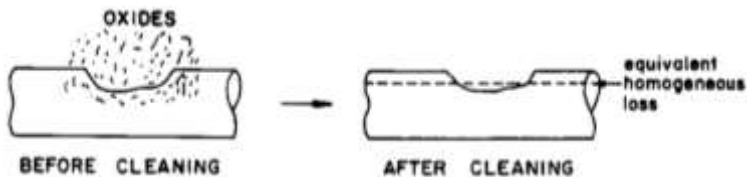
terjadi oksidasi unsur-unsur logam yang memang dari awal bentuk ikatan logam adalah elektron valensi yang meninggalkan inti bermuatan positif. Jika ada titik air yang menempel pada logam maka elektron dari inti positif logam akan tertransfer ke titik air tersebut. Titik air sebagai anoda akan menjadi tempat reduksi, reduksi yang terjadi adalah reduksi oksigen. Maka dari itu sedikit banyaknya oksigen akan sangat mempengaruhi laju korosi pada suatu daerah. Oksigen akan tereduksi dan membentuk ion hidrat. Bersamaan dengan terbentuknya ion hidrat, muatan positif, yaitu inti(ion) positif logam akan tertransfer ke dalam air dan bereaksi dengan ion hidrat. Inilah yang disebut karat, pada besi ion hidrat akan terlepas dan mengalami reaksi oksidasi lagi menjadi oksida besi, oksida besi inilah yang terlepas menjadi karat dan mengakibatkan besi keropos (Trethwey and Chamberlain, 1991)

Banyak usaha yang dilakukan untuk menanggulangi korosi pada logam terutama besi dan baja, seperti anoda korban dan galvanising. Namun seperti yang telah disebutkan dalam bab sebelumnya, cara-cara tersebut berpotensi membahayakan lingkungan dan juga manusia. Telah dilakukan penelitian dan diterbitkan banyak jurnal tentang penanggulangan korosi salah satunya dengan pelapisan komposit partikular dengan PANi. Salah satunya adalah penelitian tentang pelapisan nano komposit PANi/ $\text{CaCO}_3$  yang digunakan untuk melapisi baja stainless steel 304. Material komposit PANi/ $\text{CaCO}_3$  dibentuk melalui pencampuran  $\text{CaCO}_3$  fase kalsit pada proses polimerisasi. Kemudian material komposit akan dicampur dengan cat sebagai media pekat komposit pada baja. Material komposit ini memberikan laju korosi 14.000 kali lebih lambat dibandingkan dengan material baja tanpa pelapisan. Meskipun begitu, nilai komposisi antara PANi dan  $\text{CaCO}_3$  juga

mempengaruhi. Penambahan  $\text{CaCO}_3$  akan mengurangi nilai laju korosi, atau bisa dikatakan dapat meningkatkan sifat anti-korosinya. Namun, pengaruh ini tidak linear setelah melewati beberapa titik konsentrasi. Sehingga ada nilai konsentrasi optimum agar penambahan filler komposit menjadi lebih optimal. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi filler yang tinggi, filler akan menggumpal dan ter-aglomerasi. Penggumpalan ini mengakibatkan ketebalan yang tidak meratan seketika itu juga mengakibatkan polarisasi lokal. Polarisasi dan perbedaan ketebalan pada lapisan akan korosi mudah terjadi. (Hijazi et al., 2012)

## 2.8 Laju Korosi dan Analisisnya

*Corossion Rate* atau laju korosi adalah salah satu aspek kuantitatif yang dapat digunakan untuk menanggulangi korosi. Laju korosi didefinisikan sebagai hilangnya massa pada permukaan persatuan persatuan waktu, atau juga dapat dikatakan banyaknya produk korosi yang dihasilkan oleh sebuah permukaan yang ditinjau dalam waktu tertentu. Salah satu cara untuk mengukur laju korosi adalah dengan menggunakan gravimetri yaitu mengukur perbedaan massa benda uji sebelum dan sesudah dikorosisikan. Namun membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan data yang valid. Pengukuran massa yang hilang diilustrasikan pada Gambar 2.6A.



**Gambar 2. 5** Ilustrasi Massa Yang Hilang Setelah Korosi(Andrade and Alonso, 1996)



Pengukuran semacam ini dikenal dengan metode *weight loss* atau pengukuran massa yang hilang. Metode pengukuran *weight loss* menentukan laju korosi dengan asumsi seluruh permukaan spesimen memiliki laju korosi yang sama. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$Cr = \frac{W}{D \times A \times t} \times k$$

(Oparaodu and Okpokwasili, n.d.)

Cr merupakan laju korosi, W adalah berat yang hilang karena korosi diukur dalam gram, D adalah massa jenis dari specimen diukur dalam gram/cm<sup>3</sup>, A adalah luasan area yang berinteraksi langsung dengan udara/larutan diukur dalam inch<sup>2</sup>, t adalah lama waktu perlakuan korosi diukur dalam hari atau tahun, dan k adalah konstanta dengan nilai 22.300

Selain metode *weight loss*, analisa laju korosi juga dapat dilakukan dengan metode potensiostat. Metode potensiostat menggunakan aktivitas elektrokimia yang berhubungan dengan korosi. Proses analisa elektrokimia ini tidak serta merta langsung mendapatkan laju korosi, namun data harus dianalisa dan diolah terlebih dahulu. Persamaan dasar untuk menentukan laju korosi adalah dengan persamaan Faraday tentang elektrokimia. Persamaan tersebut menjelaskan hubungan antara arus dan juga jumlah massa yang hilang atau bertambah. Secara ideal(kondisi ideal), persamaan Faraday ini dapat ditulus

$$\frac{I \cdot t}{F} = \frac{\Delta w \cdot z}{W_m}$$

(Andrade and Alonso, 1996)

Dimana I adalah arus, t adalah waktu, F adalah bilangan Faraday yaitu 96500 C, Δw adalah perubahan massa, z adalah

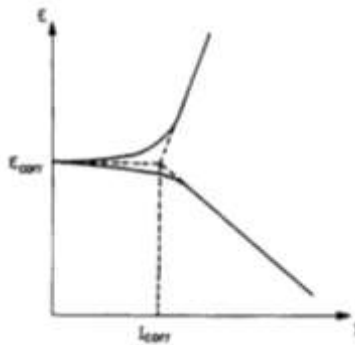
valensi dari logam, dan  $W_m$  adalah berat molekul. Dari persamaan ini kita bisa mendapat nilai arus  $I$ , dimana dalam laju korosi ditinjau sebagai intensitas korosi. Intensitas korosi atau biasa dituliskan  $I_{\text{corr}}$  memang berbeda dengan laju korosi, baik secara definisi maupun matematis, namun dari intensitas korosi kita bisa memperoleh nilai laju korosi. Analisa intensitas korosi juga dapat menjelaskan beberapa aspek yang berhubungan dengan laju korosi seperti *multilayer coating*, polarisasi pada bahan pelapis dan masih banyak lagi. Intensitas korosi biasanya dinyatakan dengan satuan  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Besaran ini bisa dikonversi menjadi laju korosi dengan menggunakan massa jenis logam menjadi laju korosi dengan satuan  $\mu\text{m}/\text{year}$  dengan asumsi bahwa korosi merata diseluruh permukaan tinjauan, seperti pada gambar 2.6 bagian *after cleaning* dengan titik putus merupakan asumsi yang dimaksud.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang korosi berkembang pesat. Pada tahun 1949 diperkenalkan kepada publik oleh Pourboix metode analisa laju korosi dengan menggunakan kurva polarisasi anoda-katoda. Pourboix melakukan eksperimen atau pengambilan data dengan cara mencelupkan sample uji kedalam  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  jenuh kemudian menganalisa kurva polarisasinya. Kemudian penelitian tersebut dikembangkan lebih lanjut oleh Kasche, dan Burnell dan Engell pada tahun 1959. Metode analisa kurva polarisasi ini adalah metode yang memerlukan rekaman polarisasi terhadap waktu yang disajikan dalam suatu grafik. Metode polarisasi yang digunakan biasanya dengan menggunakan proses elektrokimia yang dikerjakan pada permukaan sample. (Andrade and Alonso, 1996)

Ada beberapa metode untuk menganalisa kurva polarisasi. *Polarization Resistance Technique* metode yang paling umum digunakan untuk menganalisa kurva polarisasi.

Kurva polarisasi akan disajikan menurut  $E_{\text{corr}}$  fungsi logaritma  $I_{\text{corr}}$ . Metode ini akan mengambil perubahan potensial dan arus yang berada didekat daerah korosi. Pada daerah yang berdekatan dengan korosi arus dan potensial linear, sehingga melalui hukum Ohm akan didapatkan hambatan atau resistansi, dimana resistansi ini disebut resistansi polarisasi. Metode ini sangatlah populer dalam analisa elektrokimia korosi dengan menggunakan arus DC (Andrade and Alonso, 1996).

Salah satu metode analisa kurva polarisasi adalah ekstrapolasi cabang polarisasi anodik dan katodik. Kemudian dari ekstrapolasi tersebut ditentukan titik perpotongannya, dari titik perpotongan ini akan dapat diperoleh  $I_{\text{corr}}$  dan  $E_{\text{corr}}$ . Ilustrasi ekstrapolasi dapat dilihat pada gambar 2.4, dimana ditarik garis putus-putus dari masing cabang, dan kemudian ditentukan titik potong untuk mendapatkan nilai  $I_{\text{corr}}$  dan  $E_{\text{corr}}$ . Metode analisa ini memiliki banyak kegunaan seperti dapat mengetahui titik *breakdown potential* (potensial penghalang maksimal) ion klorida, tingkat sensitivitas cacat atau retakan (*crack*) terhadap korosi, dan proteksi katodik. Meskipun begitu dalam metode ini ada beberapa kelemahan yaitu masih belum ditemukan cara untuk menanggulangi perubahan polarisasi di anoda. (Andrade and Alonso, 1996)



**Gambar 2. 6** Ekstrapolasi pada Kedua Cabang untuk Mendapatkan  $I_{corr}$  dan  $E_{corr}$  (Andrade and Alonso, 1996)



## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Alat dan Bahan**

#### **3.1.1 Alat**

Pemanasan batu kapur dilakukan dengan menggunakan. Proses pengadukan dan pemanasan digunakan dan. Pengukuran massa menggunakan Ohaus Corp Pine Brook, NJ USA. Pengukuran pH larutan menggunakan kertas pH. Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi adalah Philips X'Pert MPD (*Multi Purpose Diffractometer*) system untuk identifikasi fasa yang terbentuk, yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan, digunakan untuk identifikasi gugus fungsi yang terbentuk, dan karakterisasi polarisasi untuk mengetahui laju korosi. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Alat-alat yang Digunakan dalam Penelitian

<b>No</b>	<b>NAMA ALAT</b>	<b>KEGUANAAN</b>
1	furnace	memanaskan batu kapur dari tambang
2	hotplate stirer	Untuk membantu pengadukan dan pemanasan
3	magnetic bar	Untuk membantu pemanasan
4	neraca Analitik	Untuk mengukur massa material yang digunakan
5	<i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD)	Untuk mengetahui pola difraksi dari sample
6	<i>Scanning Electron Microscopy</i>	Untuk mengetahui morfologi dari sample

7	Fourier Transform Infrared Red	Untuk mengetahui spektrum serapan dari ikatan kimia/gugus yang terbentuk
8	Ultrasonic Cleaner	Untuk mendispersikan $\text{CaCO}_3$
9	Potensiostat	Untuk mengukur laju korosi yang dihasilkan

### 3.1.2 Bahan

Adapun bahan utama yang digunakan adalah batu kapur dari Tuban, Jawa Timur. Proses sintesis  $\text{CaCl}_2$  dengan larutan menggunakan  $\text{HCl}$  37%. Sintesis  $\text{CaCO}_3$  menggunakan serbuk  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  *anhydrous*. Proses sintesis komposit digunakan serbuk Epoksi dengan pengeras cairan Eposhon A dan Eposhon B dan ditambahkan metanol. Metanol digunakan untuk melarutkan asam stearat dan epoksi resin. Pencucian  $\text{CaCO}_3$  dengan menggunakan asam stearate, bentuk awal asam stearate adalah bentuk padatan. Spesimen coating yang digunakan adalah baja ST 60. Amplas yang digunakan untuk menghaluskan spesimen dengan ukuran *mesh* 60, 80, 100, 240, 400, 600, 800, dan 1000. Etil alkohol digunakan untuk membersihkan spesimen setelah penghalusan. Juga digunakan garam  $\text{NaCl}$ . Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Bahan-bahan yang Digunakan dalam Penelitian

No	NAMA ALAT	KEGUANAAN
1	Batu Kapur	Sebagai bahan alam yang disintesis
2	$\text{HCl}$ 37%	Untuk melarutkan $\text{CaO}$
3	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Untuk menghasilkan $\text{CaCO}_3$

4	Aquades	Sebagai bahan pelarut dan untuk mencuci sample
5	Asam Stearat	Untuk mencuci $\text{CaCO}_3$ agar tidak menggumpal
6	Metanol	Sebagai pelarut Asam Stearat dan juga pelarut Epoksi Resin
7	Eposchon A dan Eposchon B	Bahan yang digunakan untuk menghasilkan atau membentuk Epoksi Resin
8	Baja ST 60	Sebagai spesimen yang dilapisi dan dicari l
9	Amplas berbagai macam ukuran	Digunakan untuk membersihkan permukaan baja dari karat, menghaluskan permukaan baja, dan juga menghaluskan permukaan lapisan
10	NaCl	Untuk dijadikan lingkungan korosi bagi spesimen uji
11	Alkohol	Digunakan untuk membersihkan alat-alat yang digunakan

## 3.2 Prosedur Penelitian

### 3.2.1 Sintesis $\text{CaCO}_3$

Batu kapur dipotong/dipecah menjadi bongkahan kecil kemudian dipanaskan didalam furnace dengan suhu  $800^\circ\text{C}$  selama 7 jam. Bongkahan batu kapur kemudian ditumbuk kemudian disaring agar bentuknya menjadi bubuk halus. Bubuk ini kemudian dilarutkan di dalam HCl 10 M untuk mendapatkan  $\text{CaCl}_2$ . Kemudian dengan jumlah konsentrasi yang sama  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dilarutkan kedalam aquades diaduk dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kemudian larutan  $\text{CaCl}_2$  diteteskan ke  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Setelah semua  $\text{CaCl}_2$  diteteskan, dilakukan



pengadukan 400 rpm selama 1 jam dengan perlakuan temperatur pada masing-masing variasi. Kemudian diendapkan menggunakan kertas saring dan dikeringkan di ruangan selama 24 jam.

### **3.2.2 Sintesis Epoksi Resin /CaCO<sub>3</sub>**

#### **3.2.2.1 Sintesis Epoksi Resin**

Epoksi Resin disintesis dengan cara mencampurkan eposchon A dan eposchon B dengan perbandingan volume 1:1. Campuran kemudian ditambah metanol dengan volume yang sama dengan campuran. Penggunaan metanol berfungsi untuk membuat campuran lebih encer dan dapat secara signifikan mengurangi jumlah gelembung pada campuran epoksi. Penggunaan metanol juga berfungsi agar campuran lebih merata terutama ketika ditambahkan CaCO<sub>3</sub>. Jumlah volume yang digunakan pada pencampuran adalah dengan eposchon A: eposchon B : Metanol=10 ml : 10 ml : 20 ml.

#### **3.2.2.2 Pencucian CaCO<sub>3</sub> dengan Asam Stearat**

CaCO<sub>3</sub> dicuci dengan larutan asam stearat. pencucian ini dimaksudkan untuk mengurangi luas permukaan dan pori CaCO<sub>3</sub>. Pembuatan larutan asam stearat dengan menggunakan pelarut metanol. Metanol dipilih sebagai pelarut karena metanol merupakan pelarut non-polar, sesuai dengan asam stearate yang merupakan senyawa polar. 1 gram asam stearate dilarutkan dalam 50 ml metanol. Kemudian CaCO<sub>3</sub> dimasukkan ke dalam larutan dan dilakukan ultrasonic cleaner selama 15 menit. CaCO<sub>3</sub> yang telah dicuci kemudian disaring.

#### **3.2.2.3 Pembuatan Larutan Komposit Epoksi Resin/CaCO<sub>3</sub>**

Pembuatan larutan komposit epoksi resin/CaCO<sub>3</sub> dilakukan dengan cara mekanik, yaitu menambahkan CaCO<sub>3</sub> ke dalam campuran resin sesuai dengan variasi fraksi berat yang telah direncanakan (2.5% wt, 5% wt, dan 7.5% wt.). Setelah

ditambahkan diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan pengadukan 600 rpm selama 5 menit, kemudian dilakukan pengadukan dengan ultrasonic selama 15 menit, kemudian dilakukan pengadukan kembali dengan magnetic stirrer selama 15 menit.

### 3.3 Coating Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$

Spesimen yang akan dilapisi adalah baja ST 60. Sebelum dilakukan pelapisan, spesimen dibentuk seperti kancing baju dengan diameter 2 cm dengan ketebalan 0,5 cm. Spesimen dihaluskan secara bertahap dengan amplas dari *mesh* 60, 80, 100, 240, 400, 600, 800, 1000 dan terakhir dicuci dengan alkohol. Kemudian dilakukan coating dengan kuas dan dibiarkan mengering. Setelah mengering dilakukan pengamplasan dengan mesh 1500 sampai permukaannya merata.

### 3.4 Karakterisasi Material

#### 3.4.1 Analisa Pola Difraksi Sinar X Material

Analisa pola difraksi sinar x dilakukan dengan tujuan menganalisa fase yang terbentuk. Adapun X-Ray difraktometer yang digunakan adalah *X-Ray Diffractometer* (XRD) Philips X'Pert MPD (*Multi Purpose Diffractometer*) laboratorium Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya. Pengujian dilakukan dengan sudut  $2\theta$  dari  $20^\circ$  hingga  $70^\circ$ . Hasil pola difraksi akan dianalisa dengan program Match!.

#### 3.4.2 Analisa Spektra Gelombang atau Gugus Fungsi Material

Karakterisasi spektroposkopi *Fourier Transform Infrared Red* (FTIR) bertujuan untuk menganalisa dan mengetahui gugus fungsi yang terbentuk. Karakteristik FTIR dilakukan di Laboratorium Material dan Metalurgi ITS Surabaya. Karakterisasi FTIR ini digunakan untuk menganalisa gugus fungsi yang terbentuk pada komposit Epoksi Resin / $\text{CaCO}_3$ .

### 3.4.3 Analisa Morfologi Permukaan

Analisa morfologi permukaan dilakukan dengan menganalisa hasil uji material dengan alat Scanning Electron Microscopy (SEM). Analisa ini bertujuan untuk mengetahui secara visual morfologi komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$  sebelum dan setelah pengujian korosi.

### 3.4.3 Analisa Uji Perendaman

Analisa Uji Perendaman dilakukan untuk mengetahui perilaku masing-masing variasi pada lingkungan laut ( $\text{NaCl}$  3.5%). Analisa dilakukan dengan melakukan pengamatan perubahan massa perhari selama 7 hari perendaman. Perendaman dilakukan di laboratorium karakter pada temperatur ruang.

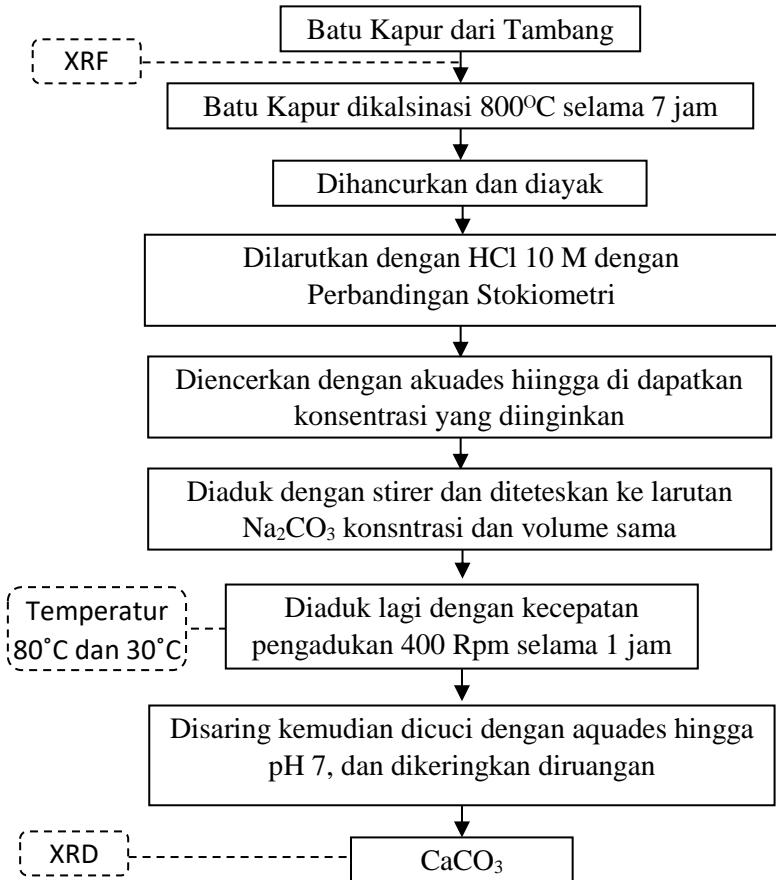
### 3.4.4 Analisa Laju Korosi

Pengujian laju korosi komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$  menggunakan alat *potensiostat*. Data yang didapat adalah rapat arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) dan tegangan (mV). Pengujian *potensiostat* dilakukan di laboratorium Korosi departemen Material dan Metalurgi ITS dengan menggunakan larutan perendam  $\text{NaCl}$  3,5 %. Data yang didapat akan dianalisa lebih lanjut dalam bentuk diagram Taffel dan diinterpretasikan gejala fisis yang berhubungan sifat korosi sample. Analisis laju korosi juga dilakukan dengan metode *weight loss* dengan perendaman di larutan  $\text{NaCl}$  3,5% dengan temperatur ruang.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian.

#### 3.5.1 Sintesis $\text{CaCO}_3$

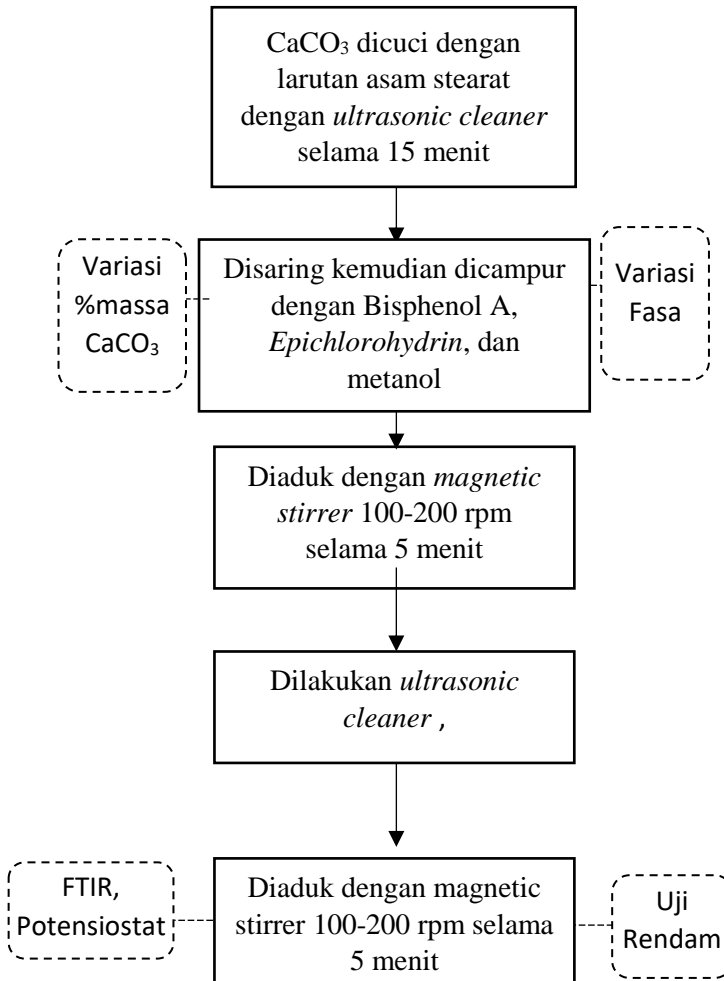
Adapun diagram alir untuk langkah sintesis  $\text{CaCO}_3$  adalah sebagai berikut,



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Sintesis  $\text{CaCO}_3$

### 3.5.2 Sintesis Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$

Adapun diagram alir untuk langkah sintesis Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$  adalah sebagai berikut,

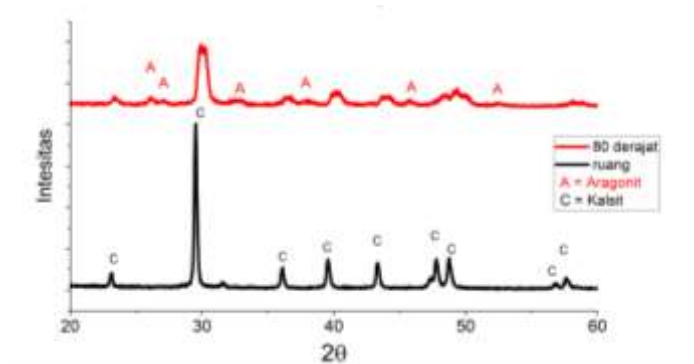


**Gambar 3. 2** Diagram Alir Sintesis Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa XRD

Hasil uji XRD  $\text{CaCO}_3$  yang telah disintesis ditunjukkan pada Gambar 4.1 untuk pola difraksi sample yang sintetis pada suhu ruang dan pola difraksi sample yang disintesis pada suhu  $80^\circ\text{C}$ . *Software* yang digunakan untuk menganalisa pola difraksi tersebut adalah match! edisi 3.



**Gambar 4. 1** Pola difraksi sinar-X bahan pengisi ( $\text{CaCO}_3$ ) pada temperature berbeda (a)  $30^\circ\text{C}$  (b)  $80^\circ\text{C}$

Hasil analisis menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk pada temperatur  $30^\circ\text{C}$  adalah 100% fasa kalsit. Fasa kalsit merupakan fasa yang paling mudah terbentuk dan paling stabil dibandingkan fasa vaterit dan aragonit. Puncak tertinggi untuk fasa kalsit berturut-turut terbentuk pada posisi  $29.624^\circ$ ,  $39.650^\circ$ , dan  $48.842^\circ$

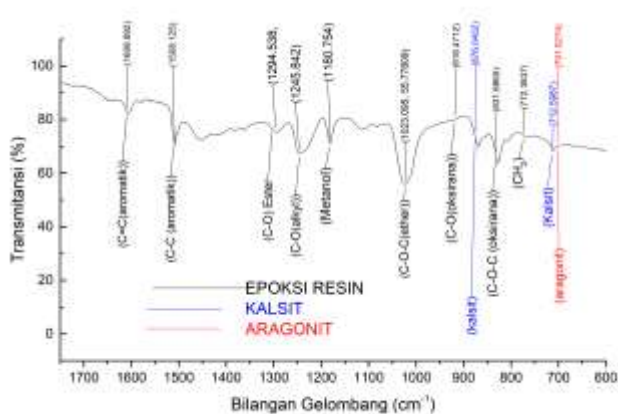
Fasa kalsit mudah terbentuk dan juga stabil. Kemurnian tinggi fasa kalsit pada temperatur  $30^\circ\text{C}$  ini karena aragonit dan vaterit susah terbentuk pada temperatur ruang. Vaterit baru terbentuk pada temperatur  $60^\circ\text{C}$  dan kondisi tertentu seperti pH

dan tingkat kejenuhan, sedangkan aragonit baru dapat terbentuk pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$  dan laju reaksi rendah (Hijazi et al., 2012).

Sample dengan perlakuan temperatur  $80^{\circ}\text{C}$  terbentuk dua jenis fasa, yaitu fasa kalsit dan aragonite. Puncak-puncak Fasa aragonite terbentuk pada sudut  $26.265^{\circ}$  dan  $27.251^{\circ}$  yaitu di kiri puncak tertinggi kalsit yang terletak pada posisi  $29.523^{\circ}$  terdapat puncak pola aragonit. Beberapa puncak aragonite muncul dan terdeteksi secara jelas, pola difraksi yang muncul ini sesuai dengan pola difraksi yang dilaporkan oleh (Ni and Ratner, 2008). Jumlah prosentasenya adalah 87% kalsit dan 13% aragonit.

Fasa aragonit merupakan fasa yang lebih labil dari pada fasa kalsit. Fasa aragonit diperkirakan terbentuk pada laju reaksi rendah dan temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ . Metode sintesis dilakukan dengan cara titrasi larutan  $\text{CaCl}_2$  ke larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  serta dilakukan pengadukan dan pemanasan pada temperature  $80^{\circ}\text{C}$ . Proses titrasi ini mengakibatkan laju reaksi yang relative rendah.. Laju aliran rendah dan temperatur  $80^{\circ}\text{C}$  merupakan kondisi yang bisa mendorong terbentuknya aragonit. Fasa aragonit dapat disintesis dengan metode yang sama namun dengan perlakuan suhu dan laju reaksi yang berbeda . (Lailiyah et al., 2010). (Lailiyah et al., 2010) melaporkan bahwa dengan metode *bubbling*, aragonit terbentuk dengan baik pada laju aliran yang rendah dan temperatur  $\geq 60^{\circ}\text{C}$ . Fasa kalsit yang terbentuk pada temperatur ini dikarenakan kalsit mampu terbentuk ditemperatur berapapun, namun seiringnya kenaikan temperatur, jumlahnya berkurang. Hal tersebut menyebabkan terdapat dua fasa yaitu fasa kalsit dan aragonit secara bersamaan.

## 4.2 Analisa Uji FTIR



**Gambar 4. 2** Spektrum Serapan Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$  Hasil Uji FTIR

Analisa FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi apa saja yang terbentuk pada komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$ . Gugus fungsi dapat ditentukan dengan mengamati spektrum infra merah mana saja yang diserap oleh sample. Rentang spektrum yang digunakan dalam pengamatan FTIR ini adalah rentang  $400\text{ cm}^{-1}$  hingga  $4000\text{ cm}^{-1}$ . Epoksi memiliki spektrum serapan pada bilangan gelombang pada  $1608\text{ cm}^{-1}$ ,  $1509\text{ cm}^{-1}$ ,  $1036\text{ cm}^{-1}$ ,  $915\text{ cm}^{-1}$ ,  $831\text{ cm}^{-1}$ , dan  $772\text{ cm}^{-1}$  (González et al., 2012). Pada Gambar 4.3 ditampilkan pola serapan gelombang inframerah milik epoksi berwarna hitam. Pada bilangan gelombang  $1608\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari ikatan rangkap antara dua atom C (karbon) pada gugus aromatik, pada  $1509\text{ cm}^{-1}$  juga merupakan ciri serapan gugus aromatik namun ikatan kovalen tunggal antara dua atom C. Gugus aromatik merupakan salah satu gugus fungsi yang terdapat pada epoksi resin. Pada bilangan gelombang  $1036\text{ cm}^{-1}$



<sup>1</sup> C-O-C pada gugus eter. Pada Bilangan gelombang  $831\text{ cm}^{-1}$  juga muncul spektrum serapan C-O-C namun pada gugus oksirana. Pola serapan oksirana juga muncul pada Bilangan gelombang  $915\text{ cm}^{-1}$ , ini merupakan serapan milik ikatan kovalen tunggal C dan O pada gugus oksirana. Pada Bilangan gelombang  $772\text{ cm}^{-1}$  merupakan pola serapan dari  $\text{CH}_2$ .

Selain pola serapan epoksi resin, juga terdapat pola serapan milik  $\text{CaCO}_3$  yaitu pada rentang bilangan gelombang  $1400\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ . Pada komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  terdapat dua macam fasa yang terdapat pada komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$ , yaitu kalsit pada spektrum bilangan gelombang  $876\text{ cm}^{-1}$ , dan  $712\text{ cm}^{-1}$  hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR yang dilaporkan oleh (Legodi et al., 2001) tentang pola serapan kalsit. Kemudian juga terdapat pola serapan aragonite yang berhimpit dengan pola serapan kalsit yaitu pada bilangan gelombang  $713\text{ cm}^{-1}$  dan yang sangat dekat dengan pola serapan kalsit yaitu bilangan gelombang  $701\text{ cm}^{-1}$  seperti yang dilaporkan (Vagenas, 2003). Pola serapan kalsit ditunjukkan pada gambar 4.1 dengan warna merah dan untuk pola serapan dari aragonit ditunjukkan dengan pola serapan berwarna biru.

Pola serapan methanol juga muncul pada sample ini yaitu pada bilangan gelombang  $1180$ . Selain itu juga terdapat pola serapan dari ikatan C-O gugus ester pada bilangan gelombang  $1294$  dan pola serapan C-O untuk gugus alkil pada  $1245$ . Pola serapan methanol diduga muncul karena terdapat sisa-sisa metanol yang belum menguap yang digunakan untuk campuran pada pembuatan epoksi resin. Gugus alkil dan ester muncul karena dua gugus ini juga merupakan gugus yang mungkin terbentuk pada polimerisasi epoksi resin yang dilakukan dengan pencampuran bisphenol A dan epiklorohidrin.

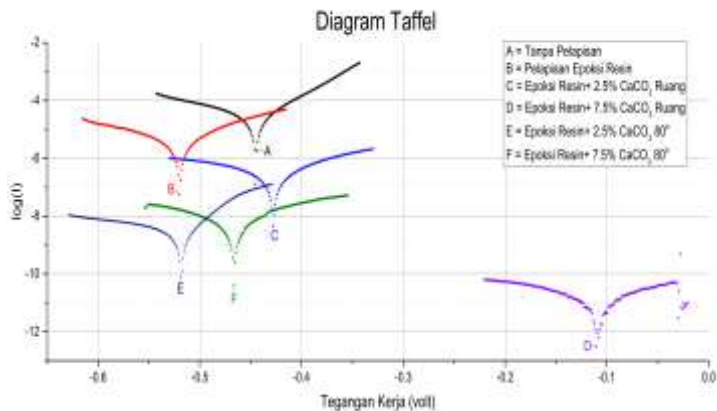
Dari keseluruhan pola serapan tersebut tidak terdapat pola serapan baru selain pola serapan epoksi dan pola serapan  $\text{CaCO}_3$ . Sehingga dari hal tersebut dapat diperoleh informasi

bahwa tidak ada reaksi kimia yang terjadi antara epoksi resin dan  $\text{CaCO}_3$  pada komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$ . Selain itu, hal ini mengindikasikan bahwa ikatan komposit yang terbentuk antara epoksi resin dan  $\text{CaCO}_3$  adalah ikatan yang bersifat mekanis atau fisis.

### 4.3. Analisis Keatahanan Korosi Komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$

#### 4.3.1. Pengujian dengan Potensiostat.

Pengujian korosi dengan potensiostat berupa diagram Tafel, yang menyatakan hubungan antar sumbu y sebagai logaritma kerapatan arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) dan sumbu x adalah tegangan kerja (mV) yang dilakukan. Larutan yang digunakan untuk menguji adalah larutan yang mengandung NaCl 3.5% (air laut tiruan). Hasil pengujian dengan potensiostat ditunjukkan pada Gambar 4.3.



**Gambar 4. 3** Diagram Taffel Hasil Uji Potensiostat

Gambar 4.3 menunjukkan diagram Tafel dari masing-masing variasi  $\text{CaCO}_3$  seperti keterangan pada gambar. Urutan letak diagram dari atas ke bawah berurutan adalah A,B, C, E, F, dan

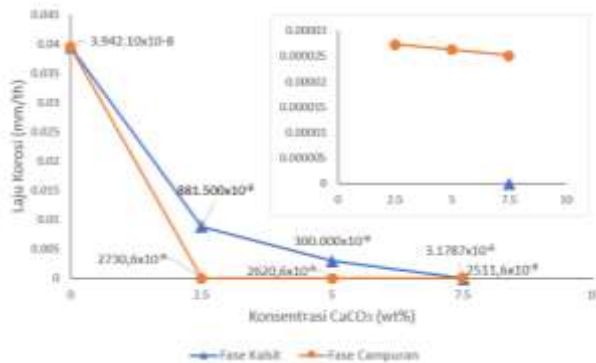
D. Secara kualitatif dapat diurutkan laju korosi sample dari yang paling cepat terkorosi hingga yang paling tahan korosi,. Posisi y grafik merupakan representasi nilai logaritma arus, semakin tinggi nilai logaritma arusnya maka akan semakin tinggi pula nilai arusnya. Nilai arus korosi berbanding lurus dengan nilai laju korosi, sehingga semakin atas letaknya, maka secara kualitatif nilai laju korosinya semakin besar.

Analisa kuantitatif menggunakan metode ekstrapolasi kurva yaitu ekstrapolasi dari lengan oksidasi dan lengan reduksi. Kedua garis ekstrapolasi akan berpotongan, nilai koordinat y titik potong digunakan sebagai nilai *I<sub>corr</sub>* atau arus korosi. Analisa ekstrapolasi menggunakan *software Potensiostat Autolab* yang digunakan untuk mencari garis ekstrapolasi dari diagram taffel. Nilai laju korosi yang didapat melalui ekstrapolasi disajikan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Nilai Laju Korosi melalui Garis Ekstrapolasi

No	Sample	Laju Korosi (mm/th)
1	ST60	$12550000 \times 10^{-8}$
2	ST60+Epoksi Resin	$3942100 \times 10^{-8}$
3	ST60+Epoksi Resin+ 2,5% CaCO <sub>3</sub> Fasa 100% Kalsit	$881500 \times 10^{-8}$
4	ST60+Epoksi Resin+ 5% CaCO <sub>3</sub> Fasa 100% Kalsit	$302000 \times 10^{-8}$
5	ST60+Epoksi Resin+ 7,5% CaCO <sub>3</sub> 100% Kalsit	$3,1787 \times 10^{-8}$
6	ST60+Epoksi Resin+ 2,5% CaCO <sub>3</sub> Fasa Campuran 87% K + 13% A	$2730,6 \times 10^{-8}$
7	ST60+Epoksi Resin+ 5% CaCO <sub>3</sub> Fasa Campuran 87% K + 13% A	$2620 \times 10^{-8}$
8	ST60+Epoksi Resin+ 7,5% CaCO <sub>3</sub> Fasa Campuran 87% K + 13% A	$2511,6 \times 10^{-8}$
<b>Keterangan : K = Kalsit      A = Aragonite</b>		

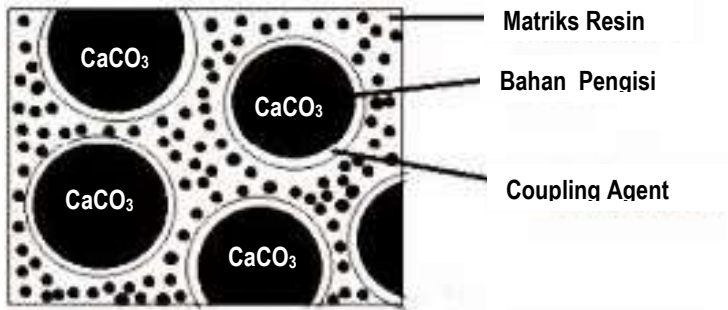
Hasil pengujian korosi dengan potensiostat ditunjukkan pada Gambar 4.4



**Gambar 4. 4** Perbandingan aju korosi komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  kalsit dan campuran dalam lingkungan 3,5% NaCl

Penambahan konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  ke dalam matrik epoksi resin menghasilkan penurunan laju korosi baik pada fasa kalsit maupun fasa campuran. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: komposit epoksi resin mengandung sejumlah komponen. Kandungan utamanya adalah matriks resin, bahan pengisi anorganik dan bahan *coupling*. Bahan pengisi dalam komposit epoksi resin ini adalah  $\text{CaCO}_3$ . Keuntungan dimasukkannya bahan pengisi ke dalam matriks resin antara lain untuk mengurangi pengerutan dan koefisien termal ekspansi, serta meningkatkan sifat mekanis dari resin (Liu et al., 2014)

Hasil pengujian ketahanan korosi secara elektrokimia menunjukkan peningkatan konsentrasi bahan pengisi ( $\text{CaCO}_3$ ) meningkatkan ketahanan korosi komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  baik fasa kalsit maupun fasa aragonit. Ilustrasi struktur komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$ , ditunjukkan Gambar 4.5.



**Gambar 4. 5** Struktur Komposit Epoksi Resin/CaCO<sub>3</sub>

Variasi penambahan bahan pengisi CaCO<sub>3</sub> ke dalam matrik resin diperkirakan akan meningkatkan kerapatan komposit epoksi resin, sehingga dapat menahan serangan ion-ion korosif (Cl<sup>-</sup>) ketika berada dalam lingkungan tiruan air laut.

Berdasarkan Gambar 4.4 Tampak bahwa variasi penambahan CaCO<sub>3</sub> fasa campuran memberikan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan fasa kalsit. Komposit epoksi resin dengan konsentrasi bahan pengisi CaCO<sub>3</sub> sebesar 2,5 %Wt lebih baik 321,82% dan 5 %Wt lebih baik 114,27%, tetapi pada konsentrasi bahan pengisi CaCO<sub>3</sub> sebesar 7,5 %Wt justru lebih jelek 789,13%. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Penambahan konsentrasi CaCO<sub>3</sub> fasa campuran sebesar 2,5 %Wt dan 5%Wt kedalam komposit epoksi resin kondisi kerapatannya masih belum optimal. Ketika sampel dicelupkan dalam larutan NaCl 3,5%, terjadi difusi garam ke dalam sampel dan selanjutnya mengeras yang berfungsi sebagai penghalang (*barrier*) ion-ion korosif, sehingga laju korosi relative jauh lebih kecil dari pada CaCO<sub>3</sub> fasa kalsit yang strukturnya seragam. Tetapi pada konsentrasi CaCO<sub>3</sub> yang lebih tinggi 7,5 % Wt ketahanan korosi Komposit Epoksi Resin/CaCO<sub>3</sub> Fasa Campuran lebih rendah 789,13% daripada fasa kalsit. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kondisi sampel dengan kerapatan yang belum optimal

dibandingkan fasa kalsit, karena terdapatnya morfologi jarum yang diindikasikan mengurangi tingkat kerapatan.

#### 4.3.2. Analisa Uji Rendaman

Uji perendaman dilakukan menggunakan lingkungan NaCl 3.5% selama 7 hari perendaman. Perendaman dilakukan untuk mengetahui perilaku korosi komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  dalam lingkungan yang mengandung NaCl 3.5%. Perubahan massa diamati setiap hari, seperti yang disajikan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4. 2** Perubahan Massa Hasil Uji Perendaman Komposit Epoksi Resin/ $\text{CaCO}_3$

Fasa	Konst $\text{CaCO}_3$	PERUBAHAN MASSA (gr) HARI KE						
		1	2	3	4	5	6	7
-	0 %Wt	0	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
Fasa campuran (87% kalsit – 13% aragonit)	2.5 %Wt	0	0.01	0.02	0	-0.01	-0.01	-0.03
	5 % Wt	0	0.02	0,01	0.01	-0.02	-0.02	-0.03
	7.5 %Wt	0	0.02	0.03	0.03	-0.01	-0.02	-0.02
100% Kalsit	2.5 %Wt	0	0.01	0.01	0	-0.02	-0.02	-0.03
	5 %Wt	0	0	0.01	0.01	-0.01	-0.02	-0.02
	7.5 %Wt	0	0.01	0.02	0.01	0.02	-0.01	-0.01

Proses perendaman sampel selama 7 hari dalam larutan korosif 3,5%NaCl dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh jenis fasa dan konsentrasi filler ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$ . Pengamatan perilaku korosi perhari selama 7 hari perendaman dapat dijelaskan sebagai berikut :

Hasil pengujian perendaman berdasarkan Table 4.2 menunjukkan selama 7 hari perendaman masih belum terjadi pengurangan massa yang signifikan pada seluruh variasi bahan pengisi (filler)  $\text{CaCO}_3$ , hal ini terjadi karena sifat epoksi resin yang memiliki ketahanan reaksi kimia yang tinggi, sehingga

untuk menghasilkan perubahan yang signifikan memerlukan waktu yang lebih lama.

Perubahan massa yang terjadi secara fluktuatif menurut Du et al, 2016 bukan disebabkan karena adanya reaksi kimia, namun perubahan massa tersebut lebih dipengaruhi karena adanya difusi larutan/ion pada komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$ .

Pada hari pertama tidak ada pengaruh perubahan massa, pada hari ke 2 – 3 terjadi peningkatan massa, hal ini disebabkan karena  $\text{CaCO}_3$  bersifat higroskopik, makin besar konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  semakin besar penyerapan air. Hari ke 4 mulai mengalami kejenuhan untuk konsentrasi 2,5 %Wt dan mulai terjadi proses korosi pada hari ke 5, 6 dan 7 ditandai dengan pengurangan massa disimbulkan dengan tanda negative. Semakin besar konsentrasi filler  $\text{CaCO}_3$  semakin kecil kehilangan massa, hal ini terjadi karena air garam yang diserap  $\text{CaCO}_3$  mulai mengeras dan berfungsi sebagai penghalang/perintang ion-ion korosif.

Pengaruh jenis fasa bahan pengisi (filler) komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  selama 4 hari pertama perendalam tidak ada bedanya, dimana pada 4 hari pertama adalah proses penyerapan air untuk membentuk perintang ion korosif, setelah hari ke 5-7 menunjukkan pengurangan massa, dimana massa filer kalsit dengan konsentrasi 7,5 %Wt mengalami penurunan massa yang lebih kecil dibandingkan dengan fasa campuran. Hal ini disebabkan karena fasa kalsit dengan morfologi kubik mempunyai tatanan yang lebih rapat dibandingkan dengan tatanan fasa campuran kubik+ batang yang tidak teratur, sehingga kerapatannya lebih rendah(Liu et al., 2014).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Telah berhasil disintesis komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  dengan bahan pengisi  $\text{CaCO}_3$  fasa tunggal (100% kalsit), dan fasa campuran (87% kalsit dan 13% aragonit).
2. Laju korosi epoksi resin  $3942100 \times 10^{-8}$  mm/th. Penambahan bahan pengisi  $\text{CaCO}_3$  ke dalam matrik epoksi resin 2,5%; 5%; dan 7,5%  $\text{CaCO}_3$  fasa Kalsit menurunkan laju korosi menjadi  $881500 \times 10^{-8}$  mm/th,  $302000 \times 10^{-8}$  mm/th, dan  $3,1787 \times 10^{-8}$  mm/th. Sedangkan penambahan bahan pengisi  $\text{CaCO}_3$  Fasa Campuran sebesar 2,5%; 5%; dan 7,5% memberikan laju korosi berturut-turut sebesar  $2730,6 \times 10^{-8}$  mm/th,  $2620 \times 10^{-8}$  mm/th dan  $2511,6 \times 10^{-8}$  mm/th.
3. Ketahanan korosi komposit epoksi resin/ $\text{CaCO}_3$  pada konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  sebesar 2,5% wt dan 5% wt fasa campuran lebih baik 321,8% dan 114,3% dari pada fasa kalsit. Sedangkan pada konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  sebesar 7,5% ketahanan korosi fasa kalsit lebih baik 789,1% dari pada fasa campuran

#### **5.2 Saran**

Dari percobaan telah didapatkan bahwa komposit epoksi resin/  $\text{CaCO}_3$  sudah mampu meningkatkan ketahanan korosi baja ST 60. Namun masih memerlukan penelitian lebih lanjut tentang karakteristiknya untuk diterapkan dalam produk industri maupun infrastruktur, seperti karakteristik gaya adhesi dan ketahanan deformasi oleh sinar matahari ataupun air.





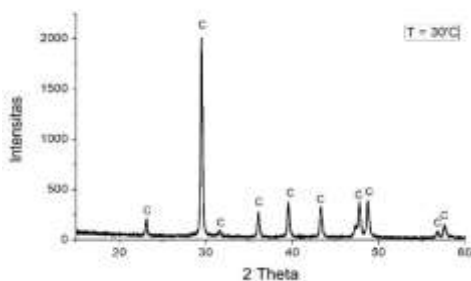
## DAFTAR PUSTAKA

- Al Omari, M.M.H., Rashid, I.S., Qinna, N.A., Jaber, A.M., Badwan, A.A., 2016a. Calcium Carbonate, in: Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology. Elsevier, pp. 31–132.  
<https://doi.org/10.1016/bs.podrm.2015.11.003>
- Al Omari, M.M.H., Rashid, I.S., Qinna, N.A., Jaber, A.M., Badwan, A.A., 2016b. Calcium Carbonate, in: Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology. Elsevier, pp. 31–132.  
<https://doi.org/10.1016/bs.podrm.2015.11.003>
- Andrade, C., Alonso, C., 1996. Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site. *Constr. Build. Mater.* 10, 315–328.
- Campbell, F.C., 2010. Structural composite materials. ASM Internat, Materials Park, Ohio.
- Fang, J., Xu, K., Zhu, L., Zhou, Z., Tang, H., 2007. A study on mechanism of corrosion protection of polyaniline coating and its failure. *Corros. Sci.* 49, 4232–4242.  
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2007.05.017>
- Ghurri, G.A., 2005. PENELITIAN AWAL PENGARUH LAMA POST CURING TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN MIKRO SKALA VICKERS PADUAN POLIMER EPOXY DGEBA DAN HARDENER DIAMINE 7.
- González, M.G., Cabanelas, J.C., Baselga, J., 2012. Applications of FTIR on Epoxy Resins – Identification, Monitoring the Curing Process, Phase Separation and Water Uptake. *Mater. Sci.* 26.
- Hadiko, G., Han, Y.S., Fuji, M., Takahashi, M., 2005. Synthesis of hollow calcium carbonate particles by the bubble templating method. *Mater. Lett.* 59, 2519–2522. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.03.036>
- Hadiyawarman, H., Agus Rijal, Bebeh Wahid Nuryadin, Bebeh Wahid Nuryadin, Khairurrijal, 2008. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan

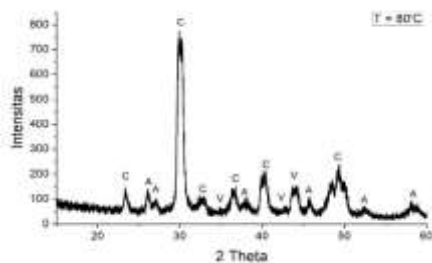
- Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing. J. Nanosains Nanoteknologi 1, 8.
- Hijazi, A., Arifin, Z., Pratapa, S., 2012. PENGARUH KONSENTRASI  $\text{CaCO}_3$  TERHADAP SIFAT KOROSI BAJA ST.37 1, 6.
- Lailiyah, Q., Baqiya, M.A., Darminto, D., 2012. Pengaruh Temperatur dan Laju Aliran Gas  $\text{CO}_2$  pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat dengan Metode Bubbling. J. Sains Dan Seni ITS 1, B6–B10.
- Lailiyah, Q., Baqiya, M.A., Hakim, J.A.R., 2010. Pengaruh Temperatur dan Laju Aliran Gas  $\text{CO}_2$  pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat dengan Metode 5.
- Legodi, M.A., Waal, D. de, Potgiether, J.H., Potgiether, S.S., 2001. TECHNICAL NOTE RAPID DETERMINATION OF  $\text{CaCO}_3$  IN MIXTURES UTILISING FT-IR SPECTROSCOPY. Miner. Eng. 14, 1107–1111.
- Liu, F., Yin, M., Xiong, B., Zheng, F., Mao, W., Chen, Z., He, C., Zhao, X., Fang, P., 2014. The effect of curing agent content on photodegradation of epoxy coating studied by positron annihilation. Japan Society of Applied Physics, p. 011207.  
<https://doi.org/10.7567/JJAPCP.2.011207>
- Lokantara, I.P., 2012. Analisis Kekuatan Impact Komposit Polyester-Serat Tapis Kelapa Dengan Variasi Panjang Dan Fraksi Volume Serat Yang Diberi Perlakuan NaOH. Din. Tek. Mesin 2.  
<https://doi.org/10.29303/d.v2i1.111>
- Ni, M., Ratner, B.D., 2008a. Differentiating calcium carbonate polymorphs by surface analysis techniques-an XPS and TOF-SIMS study. Surf. Interface Anal. 40, 1356–1361. <https://doi.org/10.1002/sia.2904>
- Ni, M., Ratner, B.D., 2008b. Differentiating calcium carbonate polymorphs by surface analysis techniques-an XPS and TOF-SIMS study. Surf. Interface Anal. 40, 1356–1361. <https://doi.org/10.1002/sia.2904>

- Oparaodu, K.O., Okpokwasili, G.C., n.d. Comparison of Percentage Weight Loss and Corrosion Rate Trends in Different Metal Coupons from two Soil Environments 7.
- Peh, E., Liedel, C., Taubert, A., Tauer, K., 2017. Composition inversion to form calcium carbonate mixtures. *CrystEngComm* 19, 3573–3583. <https://doi.org/10.1039/C7CE00433H>
- Setyawan, P.D., Sari, N.H., Pertama Putra, D.G., 2012. PENGARUH ORIENTASI DAN FRAKSI VOLUME SERAT DAUN NANAS (ANANAS COMOSUS) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT POLYESTER TAK JENUH (UP). *Din. Tek. Mesin* 2. <https://doi.org/10.29303/d.v2i1.108>
- Trethwey, K., Chamberlain, J., 1991. *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Teknik*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Tsuzuki, T., Pethick, K., McCormick, P.G., 2000. Synthesis of  $\text{CaCO}_3$  nanoparticles by mechanochemical processing. *J. Nanoparticle Res.* 2, 375–380.
- Vagenas, N., 2003. Quantitative analysis of synthetic calcium carbonate polymorphs using FT-IR spectroscopy. *Talanta* 59, 831–836. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00638-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00638-0)
- Vasil'ev, V.A., Korolev, I.V., Mashlyakovskii, L.N., 2014. Effect of Molecular Structure of Epoxy Oligomers with Perfluorinated Fragments on Hydrophobic Properties of Powder Coatings. *Russ. J. Appl. Chem.* 87, 656–663. <https://doi.org/10.1134/S1070427214050218>
- Yu, H., Wang, L., Shi, Q., Jiang, S., Jiang, G., 2006. Preparation of epoxy resin/ $\text{CaCO}_3$  nanocomposites and performance of resultant powder coatings. *J. Appl. Polym. Sci.* 101, 2656–2660. <https://doi.org/10.1002/app.23908>

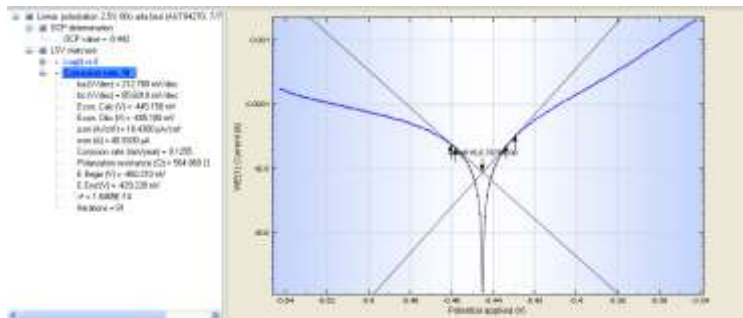
## LAMPIRAN



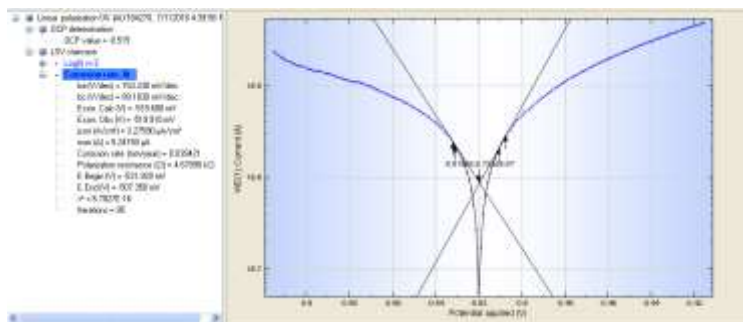
*Gambar 1 Pola Difraksi Sinar – X pada Temperatur 30°C  
Variasi Konsentrasi 0,25M*



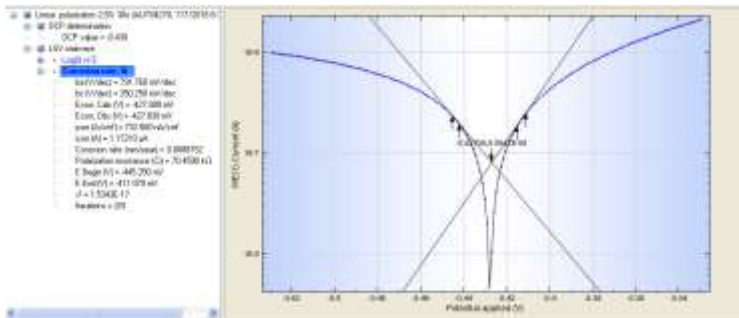
*Gambar 2 Pola Difraksi Sinar – X pada Temperatur 80°C  
Variasi Konsentrasi 0,25M*



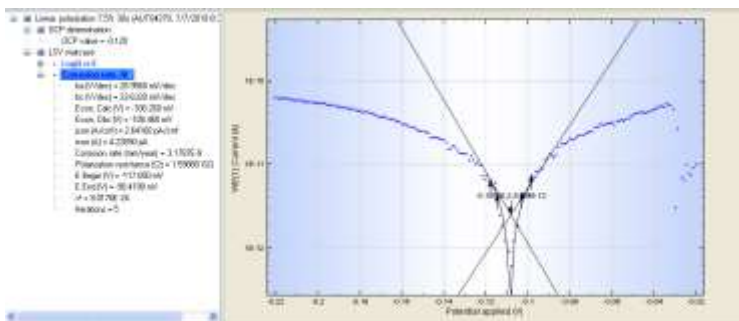
*Gambar 3 Hasil Analisa Diagram Taffel sample Baja ST 60 tanpa pelapisan menggunakan softwarePotensioestat Autolab (PGSTAT302N)*



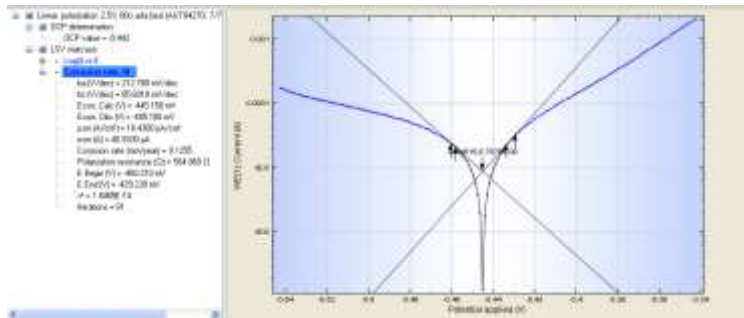
*Gambar 4 Hasil Analisa Diagram Taffel sample Baja ST 60 pelapisan epoksi resin menggunakan softwarePotensioestat Autolab (PGSTAT302N)*



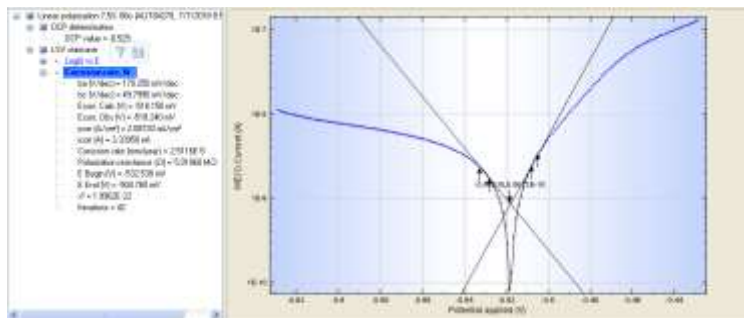
*Gambar 5 Hasil Analisa Diagram Taffel sample Baja ST 60 pelapisan epoksi resin/2.5%wt Fase Kalsit menggunakan softwarePotensiostat Autolab (PGSTAT302N)*



*Gambar 6 Hasil Analisa Diagram Taffel sample Baja ST 60 pelapisan epoksi resin/7.5%wt Fase Kalsit menggunakan softwarePotensiostat Autolab (PGSTAT302N)*



Gambar 7 Hasil Analisa Diagram Taffel sample Baja ST 60 pelapisan epoksi resin/2.5%wt Fase Campuran menggunakan softwarePotensiostat Autolab (PGSTAT302N)



Gambar 8 Hasil Analisa Diagram Taffel sample Baja ST 60 pelapisan epoksi resin/2.5%wt Fase Campuran menggunakan softwarePotensiostat Autolab (PGSTAT302N)



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Ponorogo, 7 Oktober 1995 anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Pucang 1 Sidoarjo, SMPN 1 Sidoarjo, dan SMAN 1 Sidoarjo. Tahun 2014 penulis diterima melalui jalur SBMPTN di jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh

Nopember dengan Nomor Registrasi Pokok 0111144000073. Masa perkuliahan penulis diisi dengan aktif mengikuti beberapa kegiatan, diantaranya sebagai staff BSO Physics Summit Himpunan Mahasiswa Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (HIMASIKA ITS) periode 2015/2016, berpartisipasi dalam pelaksanaan sebagai panitia 4<sup>th</sup> Physics Summit dan sebagai ketua pelaksana sekaligus direktur BSO Physics Summit periode 2015/2016. Penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium “Fisika Dasar” dan asisten Laboratorium “Fisika Laboratorium”. Penulis menjalani Kerja Praktek di Balai Riset dan Standardisasi Surabaya sebagai laboran di laboratorium Fisika (*janitrars@gmail.com*).

“...Jer Basuki Mawa Beya...”